

[製品紹介]

工作機械用精密軸受の3D電子カタログの紹介

3D Electronic Catalog Introduction for Precision Bearings of Machine Tool



梅本 武彦* Takehiko UMEMOTO

工作機械メーカーでは、CAEにおいて3次元図形データを利用した短期間での製品開発や事前の主軸や構造体各部の熱解析や構造解析による超高精度の具体化等の高度な解析が進められている。

本報では新たに提供を開始した精密軸受の3次元CADデータ（電子カタログ）の構成と当社での3次元CADデータを利用した解析事例を紹介する。

Machine tool makers use 3D-CAD data in CAE to reduce development period, to move forward advanced analysis which is thermal analysis of each parts and structural analysis for high precision.

In this document, it is introduced 3D-CAD data (electronic catalog) of precision bearings which is supplied recently, and analysis examples which is used 3D-CAD data.

1. はじめに

工作機械用精密軸受として開発されたULTAGE（アルテージ）シリーズは、主軸や送り系等の各部に使用され、その高精度と高機能に対し、工作機械メーカーから高い評価を得ている。ULTAGEの語源となった究極を意味する「ULTIMATE」、あらゆる場面での活躍を意味する「STAGE」の名前の由来どおり、現在も高い次元への成長を続けている。

今回、この精密軸受ULTAGE（アルテージ）シリーズを、『工作機械用3次元電子カタログ（3次元CADデータ）』としてまとめあげ、工作機械メーカーへの提供を開始した。

（2008年4月22日 日経産業新聞15面記事掲載）

3次元CADは、設計者以外でも設計内容がすぐに理解でき、開発時点で設計・製造・販売がアドバイスし合える利点があり、多くのメーカーでの採用が増えている。

また、3次元CADデータは、熱解析や応力解析、構造解析等のデータとしても使用が可能であり、主軸や構造体各部の解析を設計時で行うことができ、試作回数の削減にも効果が期待されている。

以下では提供を開始した3次元電子カタログの構成と3次元CADデータ応用例を紹介する。

2. 3次元電子カタログ（CADデータ）の構成

電子カタログはCD-Rで提供され、①2D/3D CADデータ②ユーザガイド（CAD取扱説明書）③精密転がり軸受カタログ（PDFファイル）④工作機械用精密軸受技術専用WEB "mt-tecnos" への接続⑤ユーザガイド（"mt-tecnos" 取扱説明書）⑥弊社ホームページへの接続が用意されている。（図1 CD-R挿入後の起動画面を参照）



図1 CD-R挿入後の起動画面
Activated screen after installed CD-R

それぞれの詳細については、CD-R内②⑤の取扱説明書を参照されたい。

(1) 3次元CADデータの構成

今回提供する『工作機械用精密軸受の電子カタログ(3次元CADデータ)』は、主軸及び送り系で使用されるアンギュラ玉軸受及び円筒ころ軸受で構成されている。CD-Rに登録されている軸受は、セラミックボールを含むアンギュラ玉軸受1039型番、円筒ころ軸受212型番、ボールねじ支持軸受78型番の総計1329型番であり、それぞれ単体の3次元CADデータとして納められている。

主要なシリーズを記載すると表1のようになる。

掲載されているCADデータは図2のツリー構成となっている。

このツリー構成での画面展開事例を図3～図5に示す。

表1 登録されている主要シリーズ
Registered main part numbers

アンギュラ玉軸受 全1039型番	
標準	7805C～7834C, 7900U～7934U 7000U～7040U, 7200C～7226C
高速用	HSE910～HSE934, HSE010～034
アキシャル荷重用	HTA920U～HTA964U HTA010U～HTA064U
研削盤用	BNT900～BNT913, BNT000～BNT014 BNT200～BNT216
シール付標準	7900～7910LLB 7000～7010LLB
シール付高速用	BNS910～BNS920LLB BNS009～BNS020LLB
ボールねじ支持軸受 全78型番	
ボールねじ支持用	BST17x47～BST60x120 7000HT～7002HT, 7203HT～7208HT
円筒ころ軸受 全212型番	
標準・複列	NN3005～NN3036
標準・単列	N1006～N1032
高速・複列	NN3005HS～NN3026HS
高速・単列	N1011HSRT6～N1020HSRT6

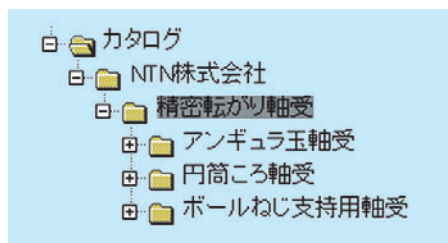


図2 CADデータの構成
CAD data formation

必要とする軸受シリーズのアイコンを選択することにより、3次元CADデータを呼び出すことができる。

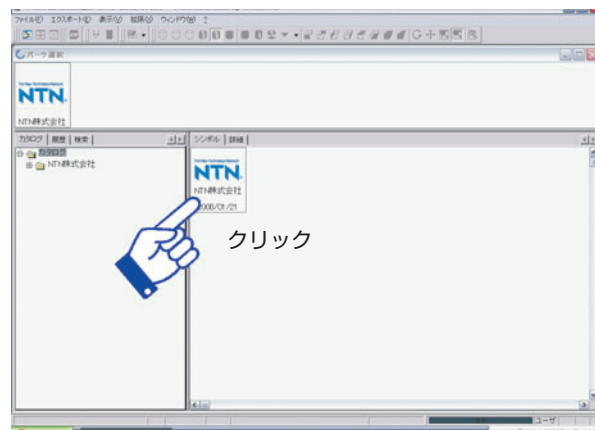


図3 NTN画面 (トップ画面)
Screen of NTN (Top screen)

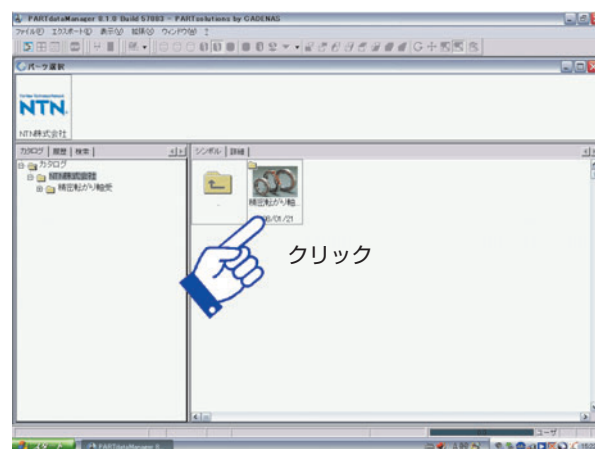


図4 精密転がり軸受画面
Screen of precision bearings

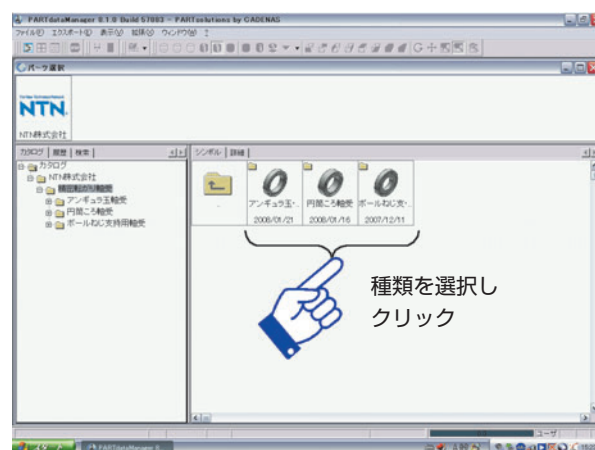


図5 精密軸受アイコン画面
Icon of precision bearings

(2) 3次元CADデータの呼び出し

呼び出した軸受アイコンから、必要とする軸受型番を順次選択し、3次元CADデータに至る例を図6～図10に示す。

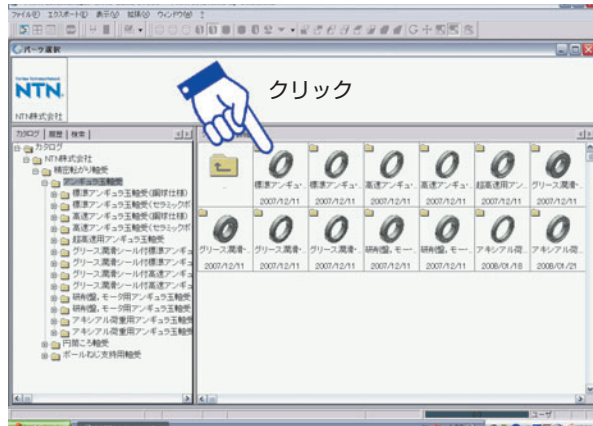


図6 アンギュラ玉軸受アイコン
Icon of angular contact ball bearings

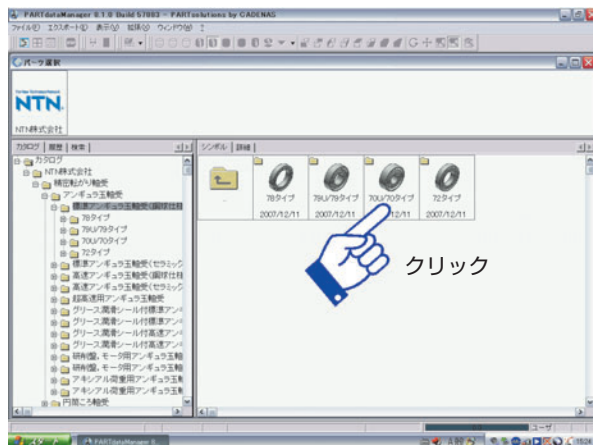


図7 標準アンギュラ玉軸受アイコン
Icon of standard angular contact ball bearings

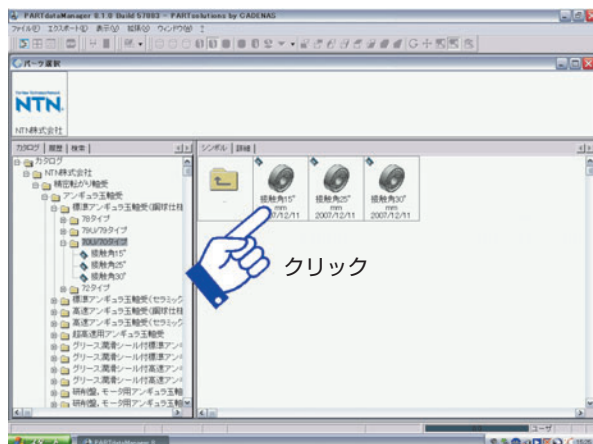


図8 70U/70シリーズアイコン
Icon of 70U/70 series

一例として、標準アンギュラ玉軸受7015UC（内径φ75×外径φ115×幅20）を選択した画面（2D/3D CADデータ選択画面）図9に示す。

軸受型番を選択すると、画面上には

- ① 軸受各部の寸法表（A部）
- ② 3D-CADデータ（B部）
- ③ 軸受構成要素内容と個数（C部）

が表示される。

②B部の3D-CADデータを必要な形式で書き出すことにより、電子データが使用可能になる。書き出しの形式を図10に示す。

ファイルフォーマットとしては、データ交換などに使われる中間形式(SAT, STEP, IGES, DXFなど)以外に、各種CAD独自のネイティブ形式(Solidworks, Inventor, OneSpaceModeling, Solid Edgeなど)

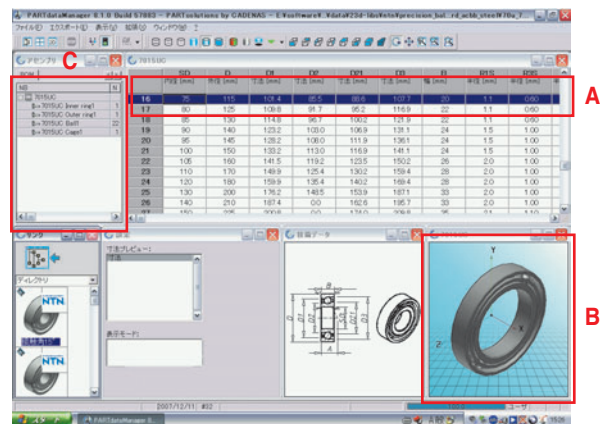


図9 標準アンギュラ玉軸受7015UC選択例
Example for 7015UC of standard angular contact ball bearings



図10 3D-CADデータ書き出し形式
Writing format of 3D-CAD data

の出力が可能である。これによりパーツとアセンブリの関係を保持した拘束条件付のデータを得ることができる。使用しているCADソフトで、利用可能な形式を確認されたい。

また、国内対応フォーマットの対応バージョンについては、当社まで確認されたい。

3. 応用例

3次元CADの図形は、設計者以外が見ても図形情報が容易に理解できるため、設計工数だけではなく、開発商品化に至る業務プロセス全体（下記①～④）の工数削減も期待されている。

- ① 設計ミスの確認（干渉部の確認）
- ② 解析への利用
- ③ 試作回数の軽減（試作コストの削減）
- ④ データ管理（部品表情報利用）

事前の干渉部の確認やさまざまな解析を行うことにより、試作機での性能確認と対策の繰り返しによる仕上がり工数（期間とコスト）が削減できたとの話を聞くことも多い。

以下では当社で実施している①②の事例について紹介する。

（1）設計ミスの確認（干渉部の確認）

3次元CADが一般的に利用される主目的としては、設計者が複雑な形状を持つ部品同士の干渉部の確認を行い、設計ミスを削減する狙いがある。

今回提供する3次元CADデータの例では、

- ① 軸受内外輪と軸及び間座の必要肩高さの確認
- ② 給油用ノズル間座とハウジング給油排油配管との位相確認
- ③ ノズル先端から噴出する潤滑油の軸受内部位置の確認

などが構造設計時点で容易に確認することができる。

図11はアンギュラ玉軸受と給油用ノズルが付いた軸受間座の組合せ図面である。3次元化することにより、図12に示したように種々の角度からの確認が可能になり、ノズル先端の狙い位置や給油/排油穴位相の関係の確認が容易になる。

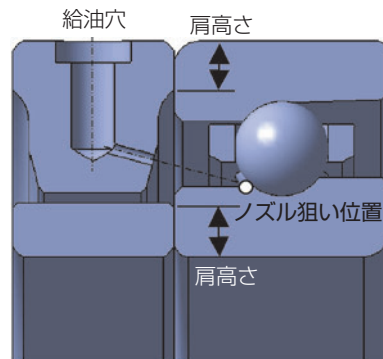


図11 アンギュラ玉軸受と軸受間座
Angular contact ball bearing with spacer

【設計ミスの確認】

- ① ハウジング給排油穴と間座給油ノズル及び排油穴の位相確認
- ② 間座位置決めピン位相確認
- ③ ハウジング内の給排油ルート（配管）の確認
- ④ 軸受及び間座と前後部品の干渉確認
- ⑤ 幅面接触長さ確認

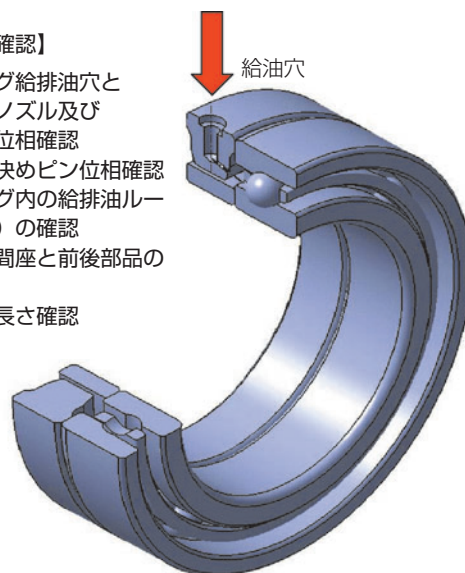


図12 3次元での確認
Confirmation in 3D

（2）解析への利用

高速化や高精度化、試作回数や試験回数の削減を目的に、主軸や構造体各部の熱解析や応力解析、構造解析等を設計時点で行うことが増えている。

図形データを解析ソフト^{注)}に取り込むことにより、負荷荷重に対する構造解析や発生熱量に対する熱解析を行うことで、機械に生じる影響を予測し、対策を講じるため利用される。

注) 本電子カタログCD-R内に解析ソフトは入っていない。

■ モード解析事例

軸受の3次元図形データを使用した解析で、最も容易にできる例として、軸受の固有振動数の計算がある。

図13に示した深溝玉軸受6208(内径 $\phi 40 \times$ 外径 $\phi 80 \times$ 幅18)の固有振動数を求めると、表3のようになる。

内輪・外輪の固有振動数を1～5次まで求めたものであるが、それぞれのモード次数でどのような形態(モード図)になっているのかが、計算値のみでは理解しがたい。しかし図形化することで容易に理解できるようになる。

一例として、内輪のモード図(1次～3次)を表4に示す。1次では単純な楕円形状であるものが、2次では軸方向にもうねり、3次では再び単純な三角形状に変化している様子が容易に理解できる。

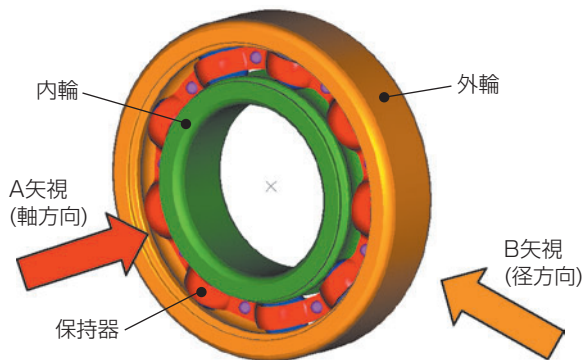


図13 深溝玉軸受6208 (内径 $\phi 40 \times$ 外径 $\phi 80 \times$ 幅18)
6208 deep groove ball bearing

表2 内外輪の物性値 (参考)
Property of inner and outer rings

ヤング率	ポアソン比	比重
208000MPa	0.3	7.8

表3 固有振動数 単位Hz
Character frequency

モード次数	内輪	外輪
1次	6727	2526
2次	9140	4475
3次	18205	7042
4次	23313	12994
5次	33011	13217

表4 内輪モード図
Mode chart of inner ring

モード次数	A矢視(軸方向)	次数B矢視(径方向)
1次		
2次		
3次		

■ 構造解析事例

3次元図形データを使用した構造解析では、軸受単体や軸受箱との組合せ構造体に、外部負荷や回転に伴う遠心力が作用した場合の応力や変位量(変形)の検討に使用することが多い。図14の構造体解析事例を紹介する。菱形の軸受箱(黄色部)に自動調心ころ軸受が組合せられた構造体であり、図では軸受外輪(水色部)のみが表示されている。

軸受及び軸受箱には、主軸より軸方向荷重 F_a と箱上部方向のラジアル荷重 F_r が作用し、主軸ー内輪ー転動体(球面ころ)ー外輪を経由し軸受箱に負荷が作用

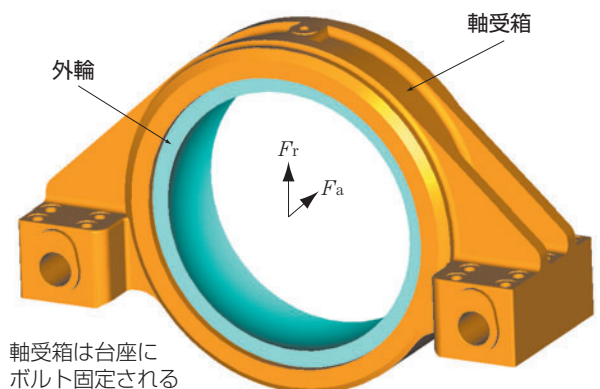


図14 解析構造
Analysis example

する。このとき軸受箱各部に発生する応力と変位量(変形)の解析検討を行った事例である。

なお、外輪(及び軸受箱)に作用する負荷荷重は、転動体(球面ころ 30本/列×2列)1本1本の荷重計算を事前に行なった上、構造解析を行っている。

(この事例のような詳細検討を行う際には、転動体荷重や転動体のばね定数の計算を当社に確認されたい。)

図15に軸受箱に発生した各部応力値例を示す。

図中で赤色部位の応力が高く、軸受箱のフランジ形状や肉厚を工夫することにより、応力の低減を行っている。

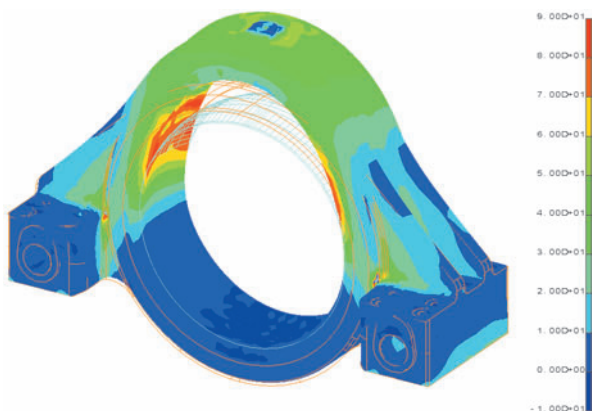


図15 軸受箱の応力分布例
Stress distribution of housing

図16は軸受箱の内部を下方向から見たものであり、内径面に作用するころ1本1本の応力状況(矢印部)がよくわかる。

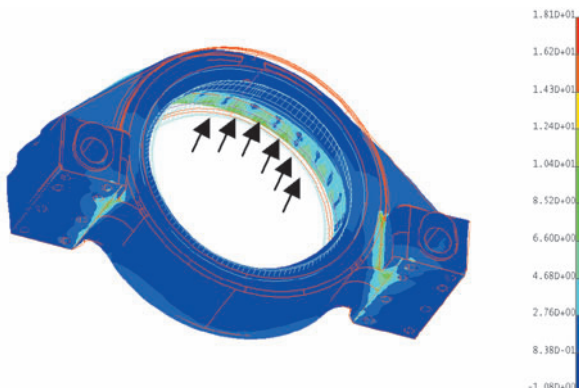


図16 軸受箱の応力分布例
Stress distribution of housing

図17～図18に軸受箱の変形量を示す。

この事例では変形量の問題はないが、回転側に取り付けられたスリーブが負荷荷重や遠心力により変形し、箱内部に接触するような事例もあるので、注意が必要である。

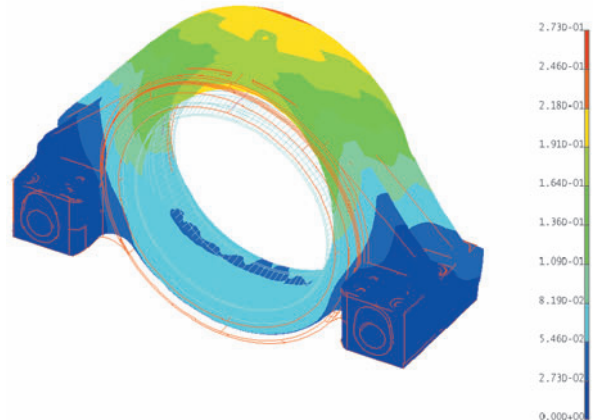


図17 軸受箱の変形量(上部より見たもの)
Deformation volume of housing from upper side

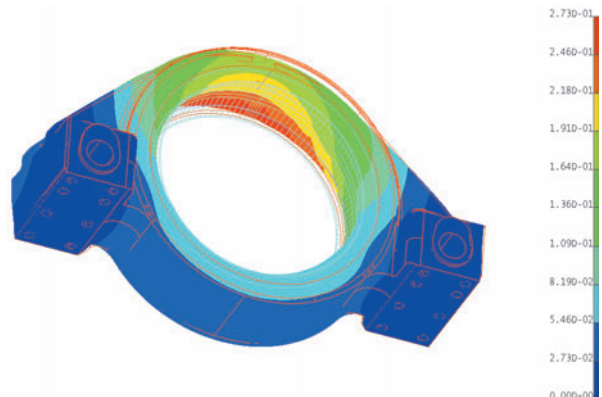


図18 軸受箱の変形量(下部より見たもの)
Deformation volume of housing from under side

■ 熱解析事例

最後に熱解析事例について紹介する。

熱解析については、軸心周りの熱分布が比較的一定な場合、2次元での解析が行われる場合が多い。

以下の紹介事例は、当社高速試験機の2次元熱解析を行い、実際の運転データと比較したものである。

(詳細については、本報「工作機械主軸スピンドルの熱解析」の項を参照されたい)

図19の横型軸受試験機は、図20に示す内部構造を持つ。

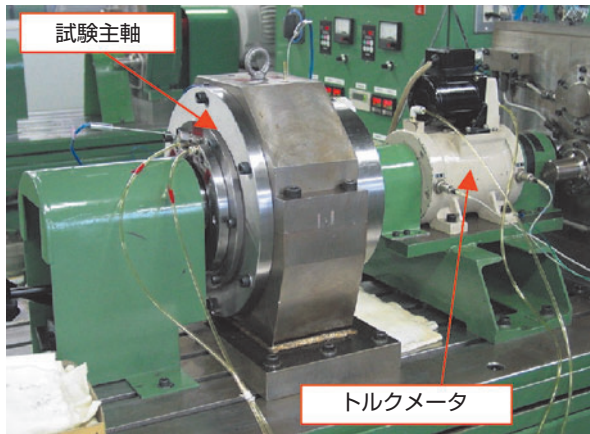


図19 試験装置
Test equipment

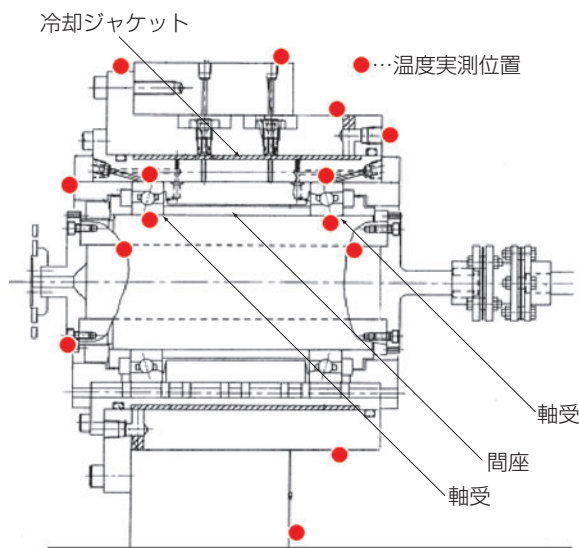


図20 試験機構造
Test equipment design

主軸両端にアンギュラ玉軸受を持ち、中央部に間座、軸受箱外部に冷却ジャケットを持つ簡単な構造である。

軸受型番、予圧やすきま等の軸受仕様や間座仕様（形状や長さ）、回転速度・潤滑条件・外筒冷却能力等の運転条件を変化させ、さまざまな軸受基礎データを採る試験機である。

図21に熱解析事例を示す。

軸受の高速回転に伴い、内部で発生した熱量の伝わり方や温度勾配が容易に理解できる。

当初、この試験機での熱解析結果と実際の試験データ（図20の14ポイントの温度データ）を比較すると、平均誤差で5℃以上生じる場合もあった。

そのため合わせ込み技術（解析結果と実験による実測値を近似させる技術）を用い、平均誤差の縮小を行い、現在では1℃以内に抑えることが可能になっている。（図21の事例での合わせ込みは、主に熱伝達率に関する内容である。）

このような試験機による基礎データの収集は、組み合わせる条件が非常に多く、データの取得に多くの時間と工数を要する。

現時点では、実際の試験なしに熱解析のみでの温度推定を行うことは困難であるが、更にデータの積み重ねと熱解析技術の向上を図り、推定温度の精度の向上と異なる試験機への展開を図っていく所存である。

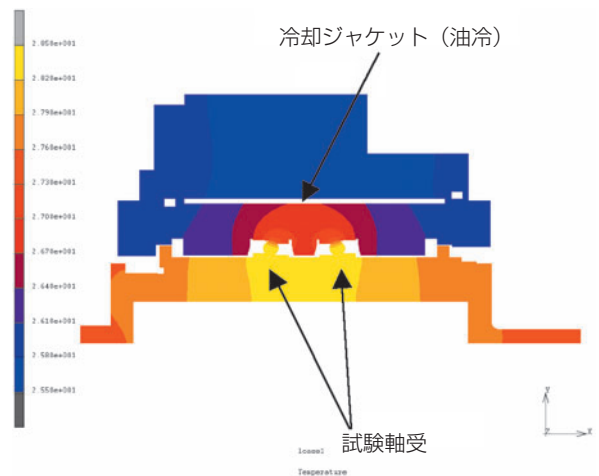


図21 熱解析結果（推定温度分布）
Thermal analysis (Estimated temperature distribution)

4. おわりに

最近の工作機械メーカーの傾向として、3次元CADによる設計開発が進んでおり、主軸、送り軸、テーブル軸等さまざまな部位の軸受3次元CADデータ要求が増えている。

今回多くのメーカーの要望を受け、当社最新精密軸受ULTAGEシリーズの中で、利用頻度の多いアンギュラ玉軸受と円筒ころ軸受（合計1329型番）の3次元CADデータ（電子カタログ）を作成し、提供を開始した。

3次元CADデータは、設計者以外でも図面情報が容易に理解できることから、設計全体像や詳細設計部位

の確認の点で非常に有効であり、さらに構造解析や熱解析に取り込むことでさまざまなデータを得ることができる。

本報では当社解析の一例を紹介したが、工作機械メーカーでは、開発機の高精度化・高機能化・開発期間の短縮等のために各種解析が進められており、今後更なる高度解析結果が盛り込まれた独創的な新機種開発が進められると予想している。

今回提供を開始した当社3次元CADデータ（電子カタログ）が、今後新たに進められる開発機の高機能化の一助になれば幸いである。

なお、今年2008年は、JIMTOF2008第24回日本国際工作機械見本市が10月30日～11月4日までが東京ビッグサイトで開催される。国内外の多くの工作機械メーカーが出展する見本市であり、さまざまな工夫を取り込んだ新機種・新技術が展示公開されるものと期待している。

執筆者近影



梅本 武彦
産機商品本部
製品設計部